Aus dem
Arbeitsphysiologischen Institut der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau
Direktor: Prof. Dr. Adolf Basler

Über die physiologische Wirkung des Tragens von Holzschuhen mit besonderer Berücksichtigung verschiedenartiger neuer Modelle.

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Doktorgrades in der Zahnheilkunde
bei der Hohen Medizinischen Fakultät der
Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau

Vorgelegt von

Günter Haunschild.

Breslau 1940.

Buchdruckerei und Verlag Eugen Jakubik, Breslau 10, Wörtherstrasse Nr. 6

Gedruckt mit Genehmigung
der medizinischen Fakultät der Universität Breslau.

I. Referent: Prof. Dr. Basler
II. Referent: Prof. Dr. Schriever
Dekan: Prof. Dr. Gottron.

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit!

Welche Bedeutung der Holzschuh in der Fußbekleidung spielt, können wir ermessen, wenn wir uns überlegen, daß wohl Millionen Menschen in derartigen Schuhen umherlaufen. Selbst innerhalb Deutschlands läßt sich die Beliebtheit des Holzschuhes in einzelnen Gegenden erkennen. In Nordwestdeutschland z. B. spielt er die gleiche Rolle, wie für uns der Lederschuh. Er ist das Schuhwerk für Alt und Jung, das nicht nur an Wochentagen, sondern auch an Festtagen in besonders kunstvoll gearbeiteter Form Verwendung findet. Was schließlich für Holland, Oberitalien, Japan und China — und wie viele andere Länder es noch sein mögen — der Holzschuh bedeutet, kommt uns zum Bewußtsein, wenn man bedenkt, daß in diesen Gegenden die Mehrzahl der Leute tag-ein, tag-aus, bis zu ihrem Tode in solchen Schuhen umherlaufen. Wenn man daraufhin zu dem Urteil kommt, daß die auf der ganzen Welt am meisten verwendeten Schuhe ganz oder zum Teil aus Holz gefertigt sind, so dürfte das in keiner Weise übertrieben sein.

Wenn auch in vielen Teilen von Deutschland der Holzschuh weit hinter den Lederschuh zurücktritt und bisher nur in einzelnen Berufen und bei ländlicher Bevölkerung Verwendung fand, so gewinnt er doch jetzt im Kriege eine gewisse Beliebtheit, da man aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten heraus und aus Gründen der Rohstoffersparnis zu einem billigeren Schuhwerk übergehen mußte.

Fragestellung.

Daß beim Tragen eines derartig steifen und verhältnismäßig schwerfälligen Schuhwerkes sich völlig andere Bewegungen im Fuß vom Sprunggelenk angefangen bis zu den Zehen abspielen, liegt auf der Hand. Die physiologische Wirkung des Laufens in den verschiedenen Formen und Modellen gegenüber dem Barfußgehen und den Bewegungen in Lederschuhen zu untersuchen, war das Ziel meiner Arbeit, die ich auf Anregung von Herrn Prof. Basler ausgeführt habe. Das zu meinen Untersuchungen notwendige Material verdankt Herr Prof. Basler der Deutschen Forschungsgemeinschaft Berlin.

Über die verschiedenen Holzschuhe.

Die verschiedenen Modelle der althergebrachten Holzschuhe lassen sich nach der Sohlenform in zwei Gruppen trennen: Einmal in solche mit gerader Sohle und zweitens in diejenigen mit einer Sohle, deren untere Fläche schnabelartig nach oben gebogen ist.

Zu den ersteren gehören zunächst die Holzpantoffeln, die in Schlesien schlechthin als Klapperlatschen im Volksmunde wegen des bei ihrem Tragen entstehenden Geräusches bekannt sind. Diese Schuhe bestehen aus einer verhältnismäßig dicken geraden Holzsohle, die an ihrem Ende einen Absatz trägt und von einer Lederkappe überspannt ist, die bis in den halben Fußrücken reicht und zum Hineinstecken der Zehen dient.

Eine zweite in diese Gruppe gehörige Form stellen die Schuhe dar, die auf einfacher gerader Holzsohle anstelle der Kappe nur einen etwa 2—3 cm breiten Lederriemen über den Fuß gespannt haben, der den genügenden Halt des Schuhes gewährleistet. Das sind die Schuhe, wie sie u. a. in Oberitalien, der Schweiz und China getragen werden.

Eine durch ihre Eigentümlichkeit auffallende Form von Holzschuhen dieser ersten Gruppe sind die japanischen Holzschuhe, die in den verschiedensten Ausführungen Verwendung finden. Für meine Versuche stand mir ein in bezug auf die Sohlengestaltung verhältnismäßig primitives Modell zur Verfügung. Ein gewöhnliches rechteckiges, gerades Holzbrett wird so zum Haften an der Fußsohle gebracht, daß ein an beiden Seiten im hinteren Drittel befestigtes Riemchen über den Fußrücken gespannt und zwischen erster und zweiter Zehe an der Sohle befestigt ist. Ein dazu nach Art unserer Fausthandschuhe hergestellter Strumpf gibt nur diesen einen Zehenzwischenraum frei für das Durchführen der Riemen.

Eine Abwandlung der Schuhe mit gerader Sohle besteht darin, daß diese nicht aus einem Holzstück gearbeitet ist, sondern sich aus einzelnen Brettchen zusammengesetzt, die auf einer biegsamen Innensohle aufgeleimt sind und sich gegeneinander bewegen lassen. Eine solche Sohlenart ermöglicht eine größere Beweglichkeit in den Fußgelenken und kommt von allen Holzschuhen somit der biegsamen Ledersohle am nächsten. Diese Konstruktion geht auf ein Modell zurück, das dem Weltkriege seine Entstehung verdankt und bei dem der Zehenteil durch ein Scharnier mit dem hinteren Sohlenstück verbunden war.

In die Gruppe der Holzschuhe mit gekrümmter Sohle müssen als erste die sogen. Holländerpantinen eingereiht werden, über

deren mechanische Einwirkung auf den Fuß Heuer[1]) eingehende Untersuchungen angestellt hat und die ich deswegen hier übergehen will.

Ich selbst befaßte mich u. a. mit einem Modell, das sich von den bisher erwähnten durch das Vorhandensein einer festen Fersenkappe unterscheidet und das erst in diesem Jahre in den Handel gekommen ist. Es handelt sich um einen Schuh, der vornehmlich von Damen getragen wird und den wir tagtäglich auf der Straße sehen können. Über eine stark geschwungene, steife Holzsohle mit ziemlich hohem Absatz ziehen in den verschiedensten Farben hergestellte Bänder, die dem Fuß beim Gehen den genügenden Halt gewähren.

Versuchspersonen.

Für meine Versuche standen mir abwechselnd 4 Versuchspersonen zur Verfügung und zwar der 14jährige Schüler Günther Latzel, die 14jährige Schülerin Renate Bertram, die 13jährige Schülerin Gerda Bartsch und der 14jährige Werner Hoheisel. Die nachfolgende Tabelle enthält die Maße der für meine Untersuchungen wichtigsten Körperpunkte der oben genannten Personen.

Tabelle 1.

	Vp. Günter L.	Vp. Renate B.	Vp. Gerda B.	Vp. WernerH.
Geburtstag	24. 4. 26	10. 4. 26	23. 6. 26	27. 3. 26
Gewicht	36,5 kg	48,5 kg	44,9 kg	40,0 kg
Größe	151,1 cm	161,0 cm	158,6 cm	152,0 cm
Hüfthöhe	83,4 „	93,1 „	91,2 „	85,2 „
Höhe der Tibia (links)	45,6 „	41,3 „	43,4	39,9 „
Höhe der Tibia (rechts)	45,9 „	41,3 „	43,5 „	39,0 „
Knöchelkuppe links (außen)	7,1 „	6,6 „	5,6 „	6,2 „
„ links (innen)	7,9 „	7,6 „	7,7 „	8,0 „
„ rechts (außen)	7,2 „	6,4 „	5,6 „	6,6 „
„ rechts (innen)	7,9 „	7,3 „	7,6 „	7,9 „
Sphyrion[2]) fibulare (rechts)	5,4 „	5,2 „	5,4 „	5,4 „
„ tibiale (rechts)	6,9 „	6,3 „	6,1 „	6,4 „
„ fibulare (links)	5,9 „	5,4 „	4,4 „	5,4 „
„ tibiale (links)	7,2 „	6,5 „	6,2 „	6,6 „

Bei allen Personen handelt es sich also um verhältnismäßig junge Menschen, die in ihrem Leben bisher nie oder nur selten derartige Schuhe getragen hatten. Es mußten demnach zunächst

1) K. Heuer: Die Bedeutung des Holzschuhtragens für die Entstehung und Verhütung von Fußdeformitäten. Med. Diss. Münster i. W. 1938.

2) R. Martin: Lehrbuch der Anthropologie, 1914, S. 125.

ausgiebige Gehübungen in den verschiedensten Schuhen durchgeführt werden, um die Unsicherheit beim Laufen zu beseitigen und einen freien ungezwungenen Gang zu erzielen. Nur so war von vornherein die Gewähr für brauchbare Ergebnisse gegeben.

Wenn ich nun über die Versuche und Ergebnisse mit den einzelnen Modellen berichte, so sei es mir gestattet, die eingangs bei der Beschreibung der einzelnen Formen gewählte Einteilung beizubehalten und die Schuhe mit gerader Sohle von denen mit gekrümmter Sohle zu trennen.

Untersuchungen an Holzpantoffeln mit gerader Sohle ohne Fersenkappe.

Für diese Versuche verwendete ich in der Hauptsache „Holzlatschen", die mir in den verschiedensten Größen zur Verfügung standen. Schon nach wenigen Schritten konnte ich die Feststellung machen, daß der wichtigste Unterschied gegenüber dem Gehen in Straßenschuhen und dem Barfußlaufen in einer ungleich größeren Zehenarbeit liegt, die die Fortbewegung in derartigen Schuhen erst ermöglicht.

Die Zehenbewegungen im Holzschuh.

Zur Untersuchung der Zehenbewegungen und zur unmittelbaren Beobachtung der Fußbewegungen während des Schreitens wurde auf Veranlassung von Herrn Prof. Basler bei einem Paar Holzpantoffeln das Oberleder abgenommen und durch eine genau gleich geschnittene Zelluloidplatte ersetzt. Als solche benützte ich einen abgewaschenen Röntgenfilm. Nachdem dieses durchsichtige „Oberleder" an der Sohle befestigt war, verfügte ich über ein Paar Holzschuhe von der gleichen Form wie bisher, aber von oben her durchsichtig.

Dabei ist bei allen 4 Versuchspersonen folgendes festzustellen:

Am Ende der Hüftdrehung,[1]) kurz bevor der Fuß den Boden mit der Hacke berührt, gehen sämtliche Zehen in die Dorsalflexion über. Diese Maximalerhebung der Zehenspitzen dauert aber nur wenige Hundertstel einer Sekunde und zwar solange, wie der Fuß mit seiner ganzen Sohle auf dem Boden ruht, d. h. solange keine Bewegung des Fußes um die Mittelfuß-Zehenachse stattfindet. Setzt hier die Bewegung ein, so beginnen sich gleichzeitig mit dem Hochgehen der Ferse die Zehen vom Oberleder zu lösen und in eine Stellung überzugehen, bei der die Plantarfläche der Zehen in einer Ebene mit der Fußsohle liegt. Der Druck der Zehen auf die Sohle ist anfangs klein und nicht anders, als der beim unbekleideten Fuß ausgeübte. Er wird aber — auch wieder wie beim Barfußgehen — um so stärker, je mehr sich die Ferse von der Schuhsohle abhebt. Bei höchster Fersenhebung, wo das ganze durch kinetische

1) Bezüglich der Definitionen vgl. A. Basler: Das Gehen, Canton 1929, S. 3.

Energie vermehrte Körpergewicht [1]) auf den Zehenballen ruht, ist auch im Holzpantoffel der Druck der Zehen gegen die Holzsohle am größten. Wird nun der Fuß vom Boden weggehoben, d. h. beginnt das Bein zu schwingen, so gehen die Zehen in die extreme Beugestellung über, um ein Verlieren des Schuhes zu verhindern. Bei dieser Klammerstellung bewegen sich die einzelnen Phalangealknöchelchen entgegengesetzt. Während die Grundphalanx dorsalflektiert wird, werden beim Hallux die Endphalanx, bei der 2.—5. Zehe die Mittel- und Endphalanx plantarwärts gebeugt. Auf diese Weise wird durch den Druck der Zehenspitzen die Sohle so um ihren Drehpunkt (Stelle des Fußrückens wo die Fersenkappe endigt) bewegt, daß ihr hinteres Ende den Kontakt mit der Ferse behält.

Die lineare Messung der Zehenbewegung.

Um nun alsolute Werte für die maximale Zehenbewegung zu bekommen, wurde eine besondere Einrichtung getroffen:

Durch ein über der Großzehe durch das Oberleder des Pantoffels gebohrtes Loch von 0,5 cm Durchmesser wurde ein Draht geführt, der mit seinem unteren Ende a auf der Zehe aufsaß. Damit er sich stets in der vorgeschriebenen Richtung bewegte, lief er in einem an dem Oberleder als Führung befestigten Messingrohr. An der Hebung und Senkung einer am oberen Ende des Drahtes angebrachten Marke b ließ sich die Bewegung des von dem Draht berührten Zehenpunktes ermitteln. Die gleiche Einrichtung war an der Holzschuhkappe noch mehrmals angebracht; jede für einen bestimmten Zehenpunkt. Aus der Stellung einzelner solcher Punkte ließ sich ein Bild der Zehenstellung während der verschiedenen Phasen des Gehens konstruieren. (s. Abb. 1).

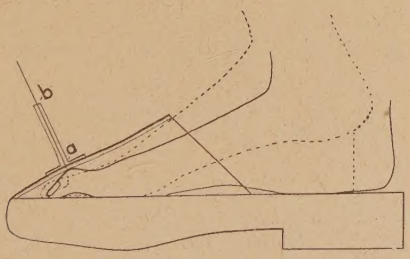

Abb. 1.

Ein Punkt an der Dorsalfläche der Großzehe über ihrem Mittelgelenk bewegt sich während des Gehens auf- und abwärts und stößt dabei rhythmisch an das Oberleder an. Seine höchste Stellung hat dieser Punkt in dem Augenblick, wo die Zehenspitzen krampfhaft gegen die Sohle gepreßt werden, also beim Schwingen des Beines. Wird der Fuß auf den Boden aufgesetzt und nehmen

1) A. Basler: Arbeitsphysiol., Bd. 8, S. 591, 1935.
und A. Basler: Med. Klin. 1935, S. 1425, (S. 2 des Sep.).

die Zehen beim Abheben der Ferse die Ruhestellung ein, so hat dieser Punkt seinen Tiefstand erreicht. Der zwischen seiner Maximalerhebung und Ruhestellung liegende Wert ist aus Tabelle 2 ersichtlich.

Die gleiche Untersuchung wurde für die zweite Zehe durchgeführt. Hier bildete den untersuchten Punkt eine Stelle über dem 1. Interphalangealgelenk. Die Bewegungen sind in Tabelle 2 für 2 Versuchspersonen zusammengestellt.

Tabelle 2.

Vp.	Hebung der 1. Zehe	2. Zehe
Günter L.	0,3 cm	0,4 cm
Renate B.	0,45 cm	0,55 cm

Die Bewegungsmöglichkeit der 2. Zehe gegenüber der 1. ist also um 0,1 cm größer. Die erheblich kleineren Werte bei Versuchsperson 1 sind zurückzuführen auf die Hammerstellung die die Zehen schon in der Ruhelage einnehmen und die bedingt ist durch jahrelanges Tragen zu kurzer Schuhe.

Ein Punkt über dem Nagel des Hallux zeigt folgende Lageveränderung: Seine höchste Erhebung findet bei Dorsalflexion der Zehen statt, d. h. in dem Augenblick, wo der Fuß nach dem Schwingen wieder den Boden berührt. Die nachfolgende Ruhelage der Zehen ist für den jetzt untersuchten Punkt noch nicht die tiefste Stellung. Diese ist vielmehr erst dann erreicht, wenn die Zehen gegen die Sohlen gekrampft werden. Das gleiche gilt für die Dorsalseite des 2. Interphalangealgelenkes der 2. Zehe. Die Werte sind folgende:

Tabelle 3.

Vp.	Hebung der 1. Zehe	2. Zehe
Günter L.	0,2 cm	0,7 cm
Renate B.	0,1 cm	0,3 cm

Es ist also auch hier die Bewegung der 2. Zehe eine größere als die des Hallux. Das hängt damit zusammen, daß die 1. Zehe durch ihre Lage am inneren Rande des durch das Oberleder gebildeten Gewölbes und durch ihre Dicke in der Bewegung weit mehr eingeschränkt ist, wie die zweite. Die mittleren Zehen haben also demnach die größte Bewegungsmöglichkeit, während diese nach beiden Fußseiten hin abnimmt. Bei den bisher beschriebenen Versuchen wurde die Bewegung des Oberlederes nicht berücksichtigt. Da die Kappe aber geschmeidig ist und nachgibt, liegt der untersuchte Punkt noch etwas höher.

Während über den 1. Interphalangealgelenken die Ausbuchtung des Leders verhältnismäßig klein ist, beträgt sie über dem Nagel des Hallux etwa 0,05 cm und über dem Mittelendgliedgelenk der 2. Zehe etwa 0,1 cm an Höhe, wie ich durch die Hebung der das Messingröhrchen tragenden Blechplatte am Oberleder beobachten konnte. Die Werte beziehen sich nur auf die bei meinen Versuchen verwendeten Schuhe; sie ändern sich mit der Qualität und der Dicke der Lederkappen. Unter Berücksichtigung der Oberlederverschiebung erhöhen sich die in Tabelle 3 angegebenen Werte wie folgt:

Tabelle 4.

Vp.	Hebung der 1. Zehe	2. Zehe
Günter L.	0,25 cm	0,8 cm
Renate B.	0,15 cm	0,4 cm

Gedrückte Hautstellen.

Noch eine andere Feststellung ermöglichen die durchsichtigen Schuhe (S. 4). Überall da, wo die Haut der Zehen fest an der Zelluloidkappe anliegt, entsteht durch Kompression der Blutkapillaren ein anämischer Bezirk, der sich scharf gegen die regelrecht durchblutete Haut der Umgebung abhebt. Der Unterschied ist so deutlich, wie bei der im hiesigen Institut so oft angewendeten Spiegelmethode [1]) an der Fußsohle. So läßt sich beobachten, wo und wann während des Gehens die Haut am Oberleder anstößt.

Während der Aufwärtsbewegung der Zehen sind es nun nicht immer die gesamten Rückenflächen, die das Oberleder berühren, (wie das einigermaßen bei den beiden Knaben der Fall ist, s. Abb. 2a und c), sondern lediglich bestimmte exponierte Punkte, die den Kontakt herstellen (wie bei Renate B., Abb. 2b).

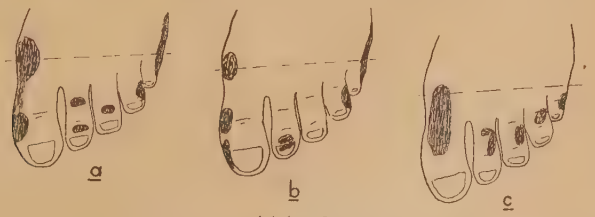

Abb. 2.

Die im Holzschuh gedrückten Stellen bei Aufwärtsbewegung der Zehen.

a = Günter L. b = Renate B. c = Werner H.

1) vgl. A. Basler: Zeitschr. f. orthopäd. Chir., Bd. 48, S. 98, 1925.

Bei allen Versuchspersonen besteht der innigste Kontakt zwischen Haut und Oberleder an der 1., 4. und 5. Zehe. Ein Aufreiben der Fußhaut wird also hier stärker sein als an den mittleren Zehen.

Das Druckbild von Renate B. zeichnet sich dadurch aus, daß im Gegensatz zu Versuchsperson 1 und 2 der Kontakt der mittleren Zehen wesentlich geringer ist, was in der gestreckteren Zehenlage seine Ursache hat, während die Berührungspunkte am Hallux, der 4. und 5. Zehe etwa die gleichen sind wie bei den Knaben; denn auch die Anämisierung an der zweiten Zehe ist schwächer ausgebildet als bei den Knaben.

Bei der Abwärtsbewegung sind es nun die mittleren Zehen, die die größte Bewegungsmöglichkeit haben. Die seitlichen hingegen behalten stellenweise ihre Berührung mit dem Oberleder bei. Damit stimmen die Beobachtungen von Wenke [1]) überein, wonach beim Tragen von Holzschuhen sich Hyperkeratosenbildungen neben Ferse und Großzehenballen vor allen Dingen an der medialen Seite des Hallux und der 2. Zehe, außerdem am lateralen Rand der 5. Zehe einstellen, während die übrigen Zehen von solchen Bildungen verschont bleiben.

Die erhalten gebliebenen Kontaktpunkte sind für die 3 gleichen Versuchspersonen aus Abb. 3 zu ersehen.

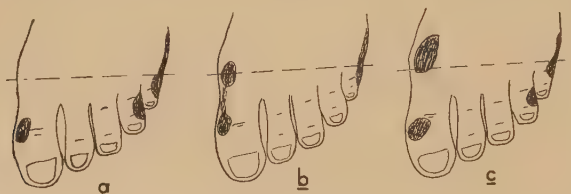

Abb. 3.

Druckstellen bei Abwärtsbewegung der Zehen.
a = Günter L. b = Renate B. c = Werner H.

Man sieht hier ohne weiteres, daß bei allen Versuchspersonen die 2. und 3. Zehe so weit vom Oberleder entfernt werden, daß sie im Holzschuh genügend Platz haben. Aber an der 1., 4. und 5. Zehe sind Druckstellen übrig geblieben und zwar gerade an der medialen bzw. lateralen Fläche, was zu einer Kompression des Fußes in lateral-medialer Richtung führen muß.

Zusammenfassend muß also festgestellt werden, daß das Gehen in Holzpantoffeln mit

1) A. Wenke: Über die Beschaffenheit der Füße bei bäuerlicher Bevölkerung usw. Med. Diss. Breslau 1939, S. 14.

einer äußerst intensiven Zehenarbeit verknüpft ist. Die häufige Flexion der Zehen führt zu einer Stärkung der Plantarmuskeln[1]) und somit zu einer hohen Leistungsfähigkeit der Füße. Nach Bardenheuer[1]) ist die Folge einer gekräftigten Muskulatur an der Sohle eine schöne Wölbung des Mittelfußes und das Fehlen jeglicher Plattfußbeschwerden. In einer mangelhaften Betätigung der Plantarmuskulatur sieht er die Hauptursache für die Entwicklung eines Pes valgus und konnte nur in Ausnahmefällen bei Holzschuh-Trägern dieses Leiden beobachten.

Druck der einzelnen Fußsohlenbezirke gegen die Holzsohle.

Zur Ausführung dieser Versuche benützte ich die von Basler inaugurierte Lochsohlen-Methode[2]):

Eine mit vielen Löchern von 0,5 cm Durchmesser siebartig durchbrochene Pappsohle wurde mit Seidenpapier überzogen und in den Schuh gelegt. Auf dieser Sohle ließ ich nun Gehbewegungen in Holzlatschen und Straßenschuhen durchführen. Nach ihrer vorsichtigen Entfernung aus dem Schuh und Ablösung des Papiers von der Pappunterlage ließen sich an den Stellen größten Druckes Dellen infolge der Einprägung in die Löcher feststellen. Gebiete geringeren Druckes markierten sich entsprechend weniger bzw. garnicht. Da bei einer Gehzeit von 5 Minuten sich die Druckstellen nur wenig im Papier abzeichneten, ließ ich im zweiten Versuch 10 und 15 Minuten gehen und erzielte dabei wesentlich günstigere Erfolge. Es kam mir hauptsächlich darauf an, den Unterschied des Gehens in gewöhnlichen Straßenschuhen und Holzpantoffeln festzustellen.

Während beim Gehen in Straßenschuhen neben Ferse und Großzehenballen alle 5 Zehen stark gegen die Sohle gedrückt werden und dabei Verzerrungen im Seidenpapier hervorrufen (s. Abb. 4), ist es beim Gehen in Holzschuhen so, daß — abgesehen von den übrigen Fußteilen — lediglich die große und 2. Zehe für größere Druckleistungen beansprucht werden. Nur diese beiden Zehen führen eine Veränderung in der Oberfläche des Papiers durch ihre Druckkraft herbei (s. Abb. 5).

Wenn beim Tragen von Holzschuhen nur unter der 1. und 2. Zehe die Papiersohle in die Löcher gedrückt wird, so liegt das daran, daß die beim Abwärtsdrücken der Zehe III bis V ausgeübte Kraft verhältnismäßig klein ist. Je weiter medial ein Zehenpunkt liegt, umso stärker ist sein Druck gegen die Sohle. Während am medialen Halluxrand von der gesamten Kante ein starker Druck ausgeübt wird, nimmt dieser nach der lateralen Seite hin

---

1) B. Bardenheuer: Der statische Pes valgus und valgoplanus, seine Ursachen, seine Folgen u. seine Behandlung. Zeitschr. f. orthopäd. Chir., Bd. 26, S. 1 (15), 1910.

2) beschrieben bei H. Klemt: Zeitschr. f. Orthopädie, Bd. 64, S. 125.

kontinuierlich ab, sodaß hier nur noch wie bei der 2. Zehe die Spitze der Endphalange merklich gegen die Sohle drückt. Im Straßenschuh hingegen werden alle Zehen zwischen Oberleder und Sohle eingezwängt und passiv gegen die Schuhsohle gedrückt.

Abb. 4
Straßenschuh

Abb. 5
Holzschuh

Druck des Fußrückens gegen das Oberleder.

Bei den Gehbewegungen werden nun nicht allein Druckwirkungen von Seiten der Zehen ausgeübt, sondern auch vom Fußrücken gegen den Kappenrand in der Phase des Abhebens der Ferse von der Sohle bis zu ihrer höchsten Erhebung. Daß dieser Druck groß sein muß, zeigt sich bei untrainierten Pantoffelträgern schon nach wenigen Schritten an einer linienförmigen Rötung des Fußrückens.

Zur Messung dieser Kraft bediente ich mich nach dem Vorschlag von Prof. Basler folgender Methode:

20 cm lange und 2,5 cm breite Papierbänder aus Kanzleipapier wurden zur Erhöhung ihrer Kraft übereinandergelegt und bogenförmig so über die Sohle gespannt, daß sie an Stelle der Kappenkante allein den Druck auffingen. Damit wurden nun Gehbewegungen ausgeführt. Rissen die Streifen ein, so wußte ich, daß die Kraft des Fußes größer ist als die Festigkeit des Papiers. Ich legte bei jedem folgenden Versuch einen Streifen mehr hinzu und prüfte solange, bis die Druckwirkung das Papier nicht mehr zersprengte. Dann nahm ich die Kraft als Mittelwert an zwischen der Festigkeit der eben noch zerrissenen Streifen und der der erhalten gebliebenen. Wenn man gefunden hatte, daß n Streifen gerade durch die vom Fußrücken ausgeübte Kraft gesprengt wurden, dann mußte ich um einen zahlenmäßigen Wert zu erhalten die Festigkeit dieser n Streifen erst experimentell bestimmen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß es sich beim Tragen des Holzschuhes nicht um eine Beanspruchung des Papieres in seiner Längsrichtung handelt, sondern um einen Druck, der das Papier in querer Richtung von der Kante her zum Einreißen bringt. Zur Nachahmung dieser Verhältnisse wurde wie folgt verfahren:

Die Fußwurzel und der Mittelfuß wurden im Holzpantoffel durch ein Brettchen A ersetzt, das durch ein Scharnier an der Stelle der Mittelfuß-Zehenachse a_1 mit der Sohle befestigt wurde. Der Fußrücken wurde durch ein an dem Brett A befestigtes Klötzchen B nachgebildet, das genau den Raum unter der Kappe ausfüllte und bei einem Zug an dem freien Ende von A einen Druck gegen den Kappenrand ausübte (s. Abb. 6).

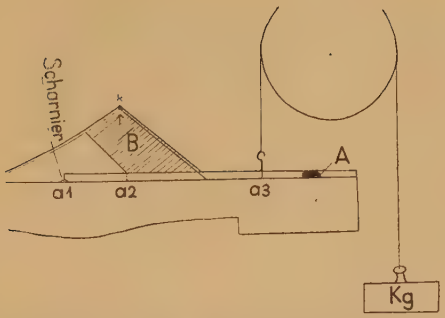

Abb. 6

Durch Zug an der Stelle a^3 mittels Gewichten, die an das Ende einer über eine Rolle geführten Schnur angehängt wurden, ließ sich leicht die Festigkeit der über die Kappe gespannten Papierstreifen ermitteln und die zur Zerreißung notwendige Kraft errechnen.

Es handelt sich bei dem Modell um einen einarmigen Hebel mit dem kurzen Hebelarm $a_1\ a_2$ und dem langen $a_1\ a_3$. Das System befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Gleichung besteht: $a_1\ a_2 \cdot x = a_1\ a_3 \cdot kg$, wobei kg das an dem Faden hängende Gewicht bedeutet, das den Haken bei a_3 in die Höhe zieht. Die Unbekannte x ist die zur Zerreißung des Papierstreifens notwendige Kraft. Ihre Größe errechnete ich als Mittelwert von je 2 Versuchen.

Wichtig für den Erfolg der Untersuchung war, daß das Papier jedesmal an genau derselben Stelle über die Kappe geführt und an der Sohle befestigt wurde. Schon Abweichungen von wenigen Millimetern zeigten Veränderungen im Ergebnis. Auch die genaueste Innehaltung derselben Papierspannung über der Lederkappe war entscheidend für den Erfolg; es ist verständlich, daß ein lockerer gespanntes Band stärker belastet werden kann als ein strafferes. Daß auch Streifen von derselben Struktur und Qualität wie beim Gehversuch verwendet werden mußten, bedarf kaum der Erwähnung. Nur unter genauester Berücksichtigung dieser Punkte ergaben sich Resultate, deren Abweichungen in den entsprechenden Versuchen voneinander sicher als innerhalb der Fehlerquellen liegend bezeichnet werden können. Daß sich auch durch die Reibungswiderstände der Rolle Differenzen ergeben zwischen angehängter Grammzahl und tatsächlich wirkender Kraft, ist erklärlich. Doch soll diese Abweichung wegen ihrer Geringfügigkeit unberücksichtigt bleiben.

Die folgende Tabelle zeigt nun in der dritten Spalte, die sich aus den beiden in Spalte 1 und 2 angeführten Versuchen ergebenden Mittelwerte, die die Grammzahl anzeigen, bei der die entsprechende Streifenmenge zerriß. Sie sind die Werte für die Kraft, die am Ende von A ansetzte, also nur indirekt auf das Papier einwirkte.

Tabelle 5.

	I g	II g	III Mittelwert
1 Streifen	1500	1700	1600
2 „	2500	2300	2400
3 „	3500	3900	3700
4 „	4300	4100	4200
5 „	5900	5600	5750
6 „	6000	6700	6350
7 „	7400	7000	7200
8 „	7800	—	7800

Nach Umrechnung mittels der vorher angegebenen Gleichung ergibt sich für die direkt am Papier einwirkende Kraft, die nötig ist, um es zum Zerreißen zu bringen, danach folgender Wert:

Tabelle 6.

1	Streifen	533,3 g
2	„	800,0 „
3	„	1233,3 „
4	„	1400,0 „
5	„	1916,6 „
6	„	2116,6 „
7	„	2400,0 „
8	„	2600,0 „

Daraus ist ersichtlich, daß — abgesehen von geringfügigen Abweichungen — die Kraftwerte kontinuierlich mit der Anzahl der Streifen wachsen.

Ergebnisse über den auf den Fußrücken ausgeübten Druck.

Die nachfolgende Tabelle stellt in der ersten Spalte die Zahl der beim Gehen gerade noch zerrissenen Streifen dar, in der 2. Spalte die Streifenzahl, die eben den Druck aushielt.

Die bei den einzelnen Personen erzielten Druckkräfte gegen die Lederkappe zeigt in Gramm ausgedrückt die 3. Spalte der Tabelle 7.

Tabelle 7.

Vp.	Anzahl der Streifen, die rissen	nicht rissen	Druckwerte nach Tab. 6 in Gramm
Günter L.	4	5	1658,3
Renate B.	7	8	2500
Gerda B.	5	6	2016,6
Werner H.	4	5	1658,3

Dabei ist zu erwähnen, daß die Versuchsperson 1 und 4 es am besten vermochten, ein natürliches unbeeinflußtes Gehen während des Versuches beizubehalten.

Jedenfalls geht aus diesen Untersuchungen hervor, daß der hintere Rand der Zehenkappe bei jedem Schritt auf den Fußrücken schlägt. So ist es auch verständlich, daß es zu Rötungen und bei längerem Gehen zu Epidermisdefekten an den Berührungsstellen kommen muß. Schwielenbildungen an diesen Stellen lassen ein häufiges Tragen von Holzlatschen erkennen. Aber nicht allein an der Haut, sondern auch am Leder selbst machen sich bei jahrelangem Tragen Zeichen der großen Kraftwirkung bemerkbar, die in Aufbiegungen des Kappenrandes bestehen; das konnte ich besonders öfters bei Maurern sehen, die den ganzen Tage über solche Pantoffeln tragen.

Schuhe mit nach oben gekrümmter unterer Sohlenfläche und Fersenkappe.

Die Bewegungen der Füße sind hier gebunden an die Bewegungen des Schuhes. Eine Gelenkarbeit innerhalb der articulationes metatarsophalangeae, die gerade beim Pantoffel sehr ausgeprägt ist, kommt hier völlig in Wegfall; vielmehr schaukelt der Fuß auf der gebogenen Sohle nach vorn; das Gehen, bei dem die Schuhe plump auf den Boden gesetzt werden, wirkt infolgedessen schon bei oberflächlicher Beobachtung steif und unbeholfen. Die Schaukelfläche reicht von der Spitze des Schuhes bis zu einem etwa 10 cm hinter der Spitze gelegenen Punkt, wo die Sohle beim Ruhigstehen des Fußes eben noch den Boden berührt. Da es sich hier nicht um eine gleichmäßig abgebogene Fläche handelt, wird der Radius der Rolle, um die sich der Fuß dreht, immer größer. Lassen wir aber diese komplizierten Verhältnisse außer acht und betrachten wir die Sohle als Teil eines Kreises, so dürfte das wohl für das Verstehen des Gehvorganges in diesem Schuh genügen und keinen allzu großen Fehler bedeuten. Bei der steilsten Stellung, wo der Fuß in den das Oberleder ersetzenden Bändern hängt, muß es zu Kompressionserscheinungen an der Haut kommen. Durch die Feststellung des Fußes in solchem Schuhwerk sind aktive Bewegungen der Zehen noch weniger möglich als in einem Lederschuh. Im Gegensatz dazu erhebt sich beim Barfußgehen die Ferse durch Drehung des Mittelfußes um eine frontale, durch das Grundgelenk der Großzehe laufende Achse (s. Abb. 7). Dazu kommt allerdings noch eine geringfügige Schaukelbewegung, die durch das Weichteilpolster bedingt ist. Auf sie macht besonders du Bois-Reymond [1]) aufmerksam.

Abb. 7

Meine soeben gegebene Darstellung konnte ich röntgenologisch bestätigen.

1) R. du Bois-Reymond: Nagels Handbuch der Physiologie, Band 4, Seite 564 (619), 1909.

Auf die beim „Abwickeln“ ausgeführte Bewegung soll noch im Einzelnen eingegangen werden. Da es aber für die Konstruktionen des Fußes bei den einzelnen Phasen der Gehbewegung notwendig war, die Lage der Drehungsachse des oberen Sprunggelenkes zu kennen, mußte vor allem diese ermittelt werden.

Ermittelung des Drehpunktes im oberen Sprunggelenk.

Dazu stand mir ein nach den Angaben von Herrn Prof. Basler konstruierter Apparat zur Verfügung.

An einem rechtwinkligen Grundbrett a (s. Abb. 8) ist an der einen Querseite vertikal ein Brett b errichtet, das dem Anlegen der Wade bei auf die Grundplatte gestelltem Fuß dient. An der anderen Querseite befindet sich eine vertikal gestellte Holzleiste c, die im Abstande von 15 und 30 cm vom Grundbrett entfernt 2 zur Grundfläche parallel laufende Nadeln enthält (d und e), die sich in entsprechend weiten Bohrungen in ihrer Halteleiste bewegen lassen.

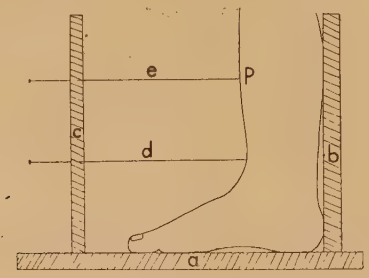

Abb. 8

Bei auf die Grundfläche gestelltem Fuß und nach Anlegen der Wade an das hierfür bestimmte Brett b werden die zwei Nadeln so eingestellt, daß sie den Unterschenkel genau über der crista anterior der Tibia berühren. Die Länge der Strecke zwischen der Holzleiste und dem c-Berührungspunkt des Unterschenkels läßt sich an den zwei Nadeln leicht ermitteln und so die Tibiakante t_1 auf einem Blatt Papier mitsamt den 3 Brettchen a, b und c konstruieren. (s. Abb. 9).

Darauf werden bei nach vorn gebeugtem Bein die 2 sich neu ergebenden Berührungspunkte in ihrem Abstand von der Halteleiste der Nadeln gemessen und so eine zweite Tibialinie t_2 gezeichnet. Nun übertrage ich einen willkürlich gewählten und am Bein markierten Punkt P nach genauer Bestimmung seiner Lage zu den Berührungspunkten der Nadeln auf die zuerst konstruierte Tibiakante, (P_1), und bestimme darauf seine Lageveränderung bei nach vorn gebeugtem Bein (P_2) um ihn entsprechend einzutragen. Ich weiß nun, daß dieser Punkt bei der Bewegung des Beines eines Kreis beschreibt, dessen Mittelpunkt der gesuchte Drehpunkt in der Talusrolle ist. Ich errichte deshalb auf den Tibiakanten in den zuletzt eingetragenen Punkten P_1 und P_2 die Senkrechten e und s und halbiere den durch diesen gebildeten Winkel durch die gestrichelte Linie h_1. Um nun auf diese Winkelhalbierenden die Stelle des Kreismittelpunktes zu finden, bringe ich sie zum Schnitt mit einer zweiten Halbierenden h_2 des Winkels, der sich aus der Verlängerung der 2 Tibiakanten t_1 und t_2 ergibt. Das ist der von mir gesuchte Drehpunkt D, den ich nun leicht in seiner Lage zur Grundplatte bestimmen und dann auf das Bein übertragen und dort markieren kann.

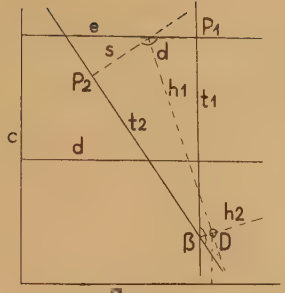

Abb. 9

Zur Kontrolle, wie sich der als Drehpunkt ermittelte Punkt zu dem Fußskelett verhält, wurde eine Röntgenaufnahme bei gestrecktem und eine bei gebeugtem Bein angefertigt und der Drehpunkt wie folgt ermittelt:

Die Aufnahmen wurden so übereinandergelegt, daß einmal die Tibiae, das andere Mal die Fußsohlen sich deckten. Im ersteren Falle wurden nun an die sich überschneidenden Fußsohlen die Geraden gelegt und der sich in ihrem Schnitt ergebende Winkel halbiert. Diese Linie stellt den geometrischen Ort des Drehpunktes dar. Seine genaue Stelle liegt an dem Schnittpunkt mit einer zweiten Halbierenden des Winkels, der gebildet wird durch die Senkrechten von 2 entsprechend gegeneinander verschobenen Punkten aus auf die dazugehörigen Fußsohlengeraden.

Im zweiten Fall bei sich deckenden Fußsohlen und gegeneinander verschobenen Tibiae wurde entsprechend verfahren.

In beiden Fällen der röntgenologischen Überprüfung ergab sich als Ort des Drehpunktes eine Stelle, die mit der durch den hierfür konstruierten Apparat gefundenen übereinstimmte.

Zur Drehpunktfeststellung stehen mir also zwei genaue Methoden zur Verfügung:

1. Die Röntgenuntersuchung.
2. die Messung mittels des anfangs geschilderten Apparates.

Die nachfolgende Tabelle 8 gibt die bei den einzelnen Personen gefundenen Drehpunktsorte am linken bzw. rechten Fuß an. Die vertikale Spalte enthält die Bezeichnung der Person, während die horizontale Spalte die Höhe des Drehpunktes über der Sohle und seine horizontale Entfernung von einer durch den hintersten Fersenpunkt auf die Grundlinie gezogenen Senkrechten aus darstellt.

Tabelle 8.

a) linker Fuß: Vp.	Höhe	horizont. Entf. v. dies. Senkrechten
Günter L.	7,1 cm	4,2 cm
Renate B.	6,2 „	5,0 „
Werner H.	6,2 „	5,6 „
b) rechter Fuß:		
Günter L.	7,2 „	4,6 „
Renate B.	7,6 „	5,6 „

Die Horizontalprojektion der Drehungsachse des oberen Sprunggelenkes läßt sich so auf dem Fuß markieren. Sie lag:

a) lateral: im Mittelpunkt des malleolus lateralis.

b) medial: etwa 0,1—0,3 cm unterhalb des Sphyrion tibiale.

Das stimmt überein mit den Angaben von Rauber-Kopsch 1), wonach die Achse etwas unterhalb der medialen Knöchelspitze quer durch das Sprungbein zieht.

Beobachte und konstruiere ich nun die einzelnen Fußstellungen beim Barfußgehen unter Einzeichnung der jeweiligen Drehpunktslage a, a_1, a_2, so ergibt sich für die Bewegungsbahn dieser Punkte ein Kreisbogen, dessen Zentrum D in die Gegend der Metatarsophalangealachse zu liegen kommt (s. Abb. 10).

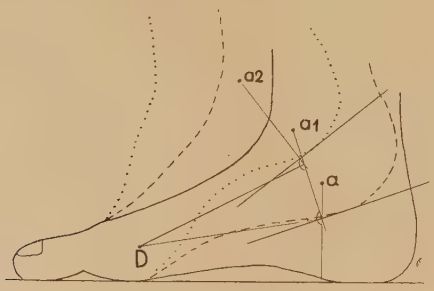

Abb. 10.

Zu diesem Ergebnis kam ich auf folgende Weise: Von den gleichen Punkten a. a_1 a_2 wurden jeweils auf die entsprechenden Fußsohlentangenten die Lote gefällt und die sich in ihrem Schnittpunkt miteinander ergebenden Winkel halbiert. Der Schnittpunkt dieser Winkelhalbierenden D ist das Zentrum der Kreisbahn a, a_1 a_2

Daraus ist also zu erkennen, daß bei dieser Form des Gehens die Abknickung des Fußes in der Metatarsophalangealachse erfolgt und sich nur der proximal von dieser Achse gelegene Teil des Fußes abhebt, während der distale Teil, d. h. die medialen Zehen, — meist nur die erste und zweite — auf dem Boden ruhen bleibt. Das Mittelfuß-Zehengelenk hat also mit seiner Plantarfläche im Moment des höchsten Fersenstandes einen großen Teil des Körpergewichtes zu tragen. Das führt zu einer Durchdrückung des zwischen Grund- und Mittelphalanx liegenden Weichteilgewölbes, wenn ich es einmal so nennen darf, sodaß die Zehen nicht mehr wie in Ruhestellung an zwei Punkten, (und zwar am proximalen und distalen Ende,) den Boden berühren, sondern dann voll aufliegen. Je größer nun das Körpergewicht bzw. die Lasten sind, die ein Mensch trägt, umso stärker werden die Zehen belastet.

1) Rauber-Kopsch 1933, Anatomie, Abt. II, S. 304.

Beim Gehen in den Holzschuhen vollzieht sich in dieser Richtung die Bewegung wesentlich anders.

Gehe ich wieder davon aus, daß ich in den einzelnen Gehphasen Lote auf die Fußsohlentangenten fälle, ihre Winkel halbiere und die Halbierenden zum Schnitt bringe, so schneiden sich diese Linien nicht in einem Punkt (s Abb. 11). Es handelt sich hier also nicht um eine Kreisbewegung mit einem festliegenden Drehpunkt, sondern um einen erheblich komplizierteren Vorgang. Der Drehpunkt ändert mit jedem Millimeter, um den sich der Schuh höher vom Boden abhebt, seine Lage in dem Sinne, daß er weiter spitzenwärts wandert. Während er vielleicht grob gerechnet für eine Bewegung der Sprunggelenkachse von a nach a_3 wirklich für einen unberechenbar kleinen Moment der richtige Drehpunkt ist, so hat er jedoch für die Bewegung a, a_1 sich um ein erhebliches Stück nach distal verschoben und kommt am Ende der Bewegung a2, a3 in die Schuhspitze zu liegen.

Es handelt sich demnach bei der Strecke a, a_2 um eine Kurve, deren Drehpunkt zwischen den Endpunkten des vorhin von mir als Schaukelfläche bezeichneten Schuhsohlenstückes hin und her wandert. [1]) (s. Abb. 11).

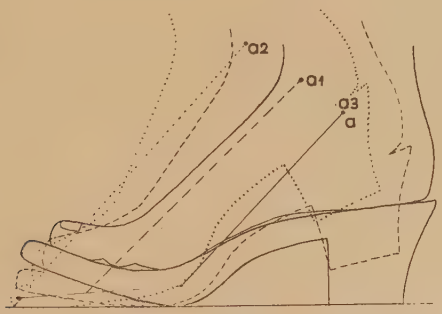

Abb. 11.

Es kommt also bei diesem Gehen nicht zu einer Aufrichtung nur des proximalen Teiles von der Mittelfuß-Zehenachse aus, sondern der gesamte Fuß stellt sich auf und kommt im Augenblick der maximalen Absatzerhebung auf die Zehenendphalangen zu stehen. Diese Stellung ist von der des Spitzentanzes nur quantitativ verschieden und bedeutet einen Grenzfall, der praktisch nur bei wirklich geübtem Gehen zustande kommt. In Wirklichkeit aber sehen bei den meisten Trägern dieser Modelle die Dinge so aus, wie ich auf der Straße beobachten konnte, daß der Fuß erheblich steifer aufgesetzt wird und Abrollbewegungen, wenn sie überhaupt vorhanden sind, sich nur über ein äußerst kleines Sohlenstück erstrecken. Das erweckt den bereits erwähnten Eindruck des uneleganten Gehens.

1) vgl. auch K. Heuer: Arch. f. orthopäd. und Unfall-Chirurgie, Bd. 39, S. 144 (186) 1938

Demgegenüber konnte ich jedoch feststellen, daß die Größe des Abrollens mit der Schnelligkeit des Gehens wächst, so daß bei spielenden Kindern die Bewegungen wesentlich natürlicher und bestimmter sind als bei älteren, langsam gehenden Leuten. Außerdem werden Ermüdungserscheinungen schnell einsetzen, da das Gehen durch die mit der überaus großen Dicke der Sohle verbundenen Schwere der Schuhe recht mühsam ist.

Eine geringe Verbesserung der käuflichen Holzsandaletten, die darauf abzielt, dem Fuß seine aktive Betätigung wiederzugeben, beruht darauf, daß der Fuß nicht fest auf der Holzsohle aufliegt, sondern auf einer nachgiebigen Sohle ruht. Diese Sohle ist in der Art eines Hebels mit dem übrigen Holzteil verbunden und dreht sich um einen Punkt, der etwa in der Mitte des Schuhes liegt.

Beim Tragen dieser Modelle kommen also zwei von einander abhängige Bewegungen zustande. Einmal als Grundbewegung die anfangs erwähnte Passivbewegung des Fußes, in die sich eine zweite Bewegung durch ein geringes Abheben der Pappsohle von der Holzunterlage einfügt. Dadurch kommt es zu einer geringen Abknickung der Zehen in den Metatarsophalangealgelenken.

Diese Schuhe bilden somit den Übergang zu den mehr Beweglichkeit bietenden modernen Holzschuhen mit der aus einzelnen Brettchen bestehenden Sohle, die scharnierartig miteinander verbunden sind. Diese Schuhe ihrerseits dem Fuß eine dem Gehen im Lederschuh ähnelnde Bewegungsmöglichkeit. Sie sind den Schuhen mit starrer Holzsohle aus den oben angeführten Gründen vorzuziehen.

Fußwinkel beim Tragen von Holzschuhen.

Nach den Betrachtungen über dieses Schuhwerk will ich am Schlusse meiner Untersuchungen über die mechanischen Momente beim Gehen in Holzschuhen noch einiges erwähnen über die Größe der beim Gehen zu beobachtenden Fußwinkel, insbesondere diejenigen, die sich beim Tragen der japanischen Schuhe ergeben. Es ist bekannt, daß die Japaner die Füße abnorm stark nach einwärts drehen, was nach altjapanischer Sitte für schön gehalten wird. Es lag nahe anzunehmen, daß diese Fußstellung mitbedingt ist durch die Form der Schuhe. Zu diesem Zweck ließ ich die Versuchspersonen in japanischen Modellen, deren Sohlen ich mit Eosinrot bestrich, über einen Tapetenstreifen gehen; zu Vergleichszwecken fertigte ich auch Abdrücke beim Barfußlaufen und Gehen in verschiedenen anderen Holzschuhen an. Während sich bei den japanischen Schuhen infolge der eckigen Sohle einwandfreie Messungen durchführen ließen, war es bei den anderen Schuharten außerordentlich schwierig, die sich aus den Abdrücken ergebenden

Winkel so zu konstruieren, daß sie einen Vergleich zur Stellung des unbekleideten Fußes zuließen.

Immerhin ließ sich feststellen, daß der Fußwinkel größer wird, je unsicherer das Laufen in einer bestimmten Holzschuhart ist und je schlechter sich die Schuhführung dirigieren läßt; zugleich nimmt dadurch die Schrittlänge ab.

Somit ergaben sich gegenüber dem Barfußlaufen, wo der rechte Fuß unter durchschnittlich 2 Grad und der linke unter 3 Grad bei einer Schrittlänge von 69 cm nach außen gedreht wurde, weit größere Winkel beim Gehen in dem aus einem einfachen quer über den Fußrücken gespannten Riemen und einer Holzsohle gebildeten Schuhen. Das Extrem der Drehung wurde jedoch ganz gegen alles Erwarten in den japanischen Sandalen erzielt. Während bei den Riemensohlen sich für rechts Werte von 5 Grad und links solche von 1 Grad bei einer Schrittlänge von 63 cm ergaben, wurden in den japanischen Schuhen Winkel von 6 Grad für rechts und 14 Grad für links gemessen. Der Abstand der Spuren betrug hier nur noch 60 cm. Da auch bei diesem letzten Modell die Winkel positiv waren, d. h. die Füße nach außen gedreht wurden, steht diese Fußstellung im krassen Gegensatz zu der des Japaners.

Es scheint somit die Annahme berechtigt, daß die bei diesem Volke so geschätzte Einwärtsdrehung der Füße nicht in einer Behinderung durch das Schuhwerk seinen Grund hat, sondern durch andere mir unbekannte Ursachen bedingt ist.

Physikalische Eigenschaften des Materials.

Nach den Untersuchungen der mechanischen Gesichtspunkte will ich nun noch abschließend etwas über die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen zur Holzschuhherstellung verwendeten Materialien erwähnen. Ich prüfte einzelne Stoffe hinsichtlich ihrer Wasseraufnahmefähigkeit und ihrer Wasserdurchlässigkeit.

Für die Versuche standen mir Proben von Erlenholz, Weißbuchen- und Rotbuchenholz zur Verfügung. Zum Vergleich führte ich auch dieselben Untersuchungen mit Leder durch. Die W a s s e r a u f n a h m e f ä h i g k e i t dieser Stoffe prüfte ich auf folgende Weise:

Ich wog die in etwa der gleichen Größe zurechtgeschnittenen Stückchen in trockenem Zustande ab und legte sie darauf eine Stunde in kaltes Wasser. Danach wog ich wieder und stellte in Prozentwerten umgerechnet die Aufnahmefähigkeit für Wasser fest. Die Tabelle soll die Ergebnisse zeigen; die erste Vertikalspalte enthält die verschiedenen Materialproben, die zweite ihr Gewicht in trockenem, die dritte ihr Gewicht in nassem Zustande

nach einstündiger Wassereinwirkung. Aus der vierten Spalte sind die Prozentwerte für das Wasseraufsaugungsvermögen zu ersehen.

Tabelle 9.

	trocken	naß	Prozent
1. Erlenholz	1,71 g	2,48 g	45
2. Weißbuchenholz	1,13 g	1,72 g	52,2
3. Rotbuchenholz	1,2 g	1,55 g	29,2
4. Leder (1,1 mm dick)	1,77 g	3,24 g	83
5. Leder (4 mm dick)	4,37 g	6,32 g	44,6

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß, abgesehen von dünnem Leder, das fast die seinem Trockengewicht entsprechende Wassermenge aufnimmt, es sich bei dem Weißbuchenholz um das aufsaugungsfähigste Material handelt. Es ist das weichste Holz im Gegensatz zur Rotbuche, das den geringsten Durchtränkungsgehalt zeigt. Aus Weißbuchenholz hergestellte Holzschuhe werden sich also für Leute, die viel in nasser Umgebung zu arbeiten haben, wie Fleischer, Melker, Bauern usw. weniger eignen als solche mit Rotbuchensohle. Diese Schuhe sind nicht nur gesünder, sondern zugleich auch leichter und haltbarer infolge des dem Wasser gegenüber widerstandsfähigeren Holzes. Andererseits wird es auch bei diesen Schuhen zu einer nicht so großen Schweißaufsaugung durch das Holz kommen, so daß dadurch eine länger bestehende Durchfeuchtung der Sohle vermieden wird. Im Holzschuh besteht überhaupt wegen der vorhandenen guten Durchlüftungsverhältnisse die Gewähr für eine schnelle Verdunstung der sich darin ansammelnden Flüssigkeit. 1)

Die Wasserdurchlässigkeit der Stoffe untersuchte ich mittels eines etwa 4 cm im Durchmesser betragenden Messingrohres, das an seinem unteren Ende mit dem zu untersuchenden Material verschlossen wurde, während ich von oben her Wasser in einer Höhe von 11 cm hineinfüllte. An der unteren Seite des Verschlusses sah ich nun nach verschiedenen Zeiten, ob Spuren einer Wasserdurchlässigkeit erkennbar wurden. Bei dem Verschluß mit einem etwa 1,1 mm dicken Lederstückchen zeigte sich nach einem Zeitraum von 3/4 Stunden eine deutliche Tropfenbildung auf der der Wassersäule abgekehrten Seite. Bei einem Lederstückchen von 4 mm Dicke waren nach einer Versuchszeit von 3 Stunden noch keine Anzeichen einer Durchfeuchtung erkennbar. Erst nach 15 Stunden waren die ersten Spuren einer Durchlässigkeit zu sehen, während nach weiteren 9 Stunden, also insgesamt nach 24 Stunden, eine deutlich feststellbare Wasseransammlung am Rand zwischen Leder und Messingrohr vorhanden war. Doch war auch

1) K. Heuer: l. c. S. 150.

diese Menge noch zu gering, um die Adhäsion zu stören und ein Tropfen herbeizuführen. Die Farbe dieses durchgetretenen Wassers war jedoch im Gegensatz zu dem eingefüllten sauberen Wasser ausgesprochen tintenschwarz. Es liegt also die Möglichkeit nahe, daß es sich nicht um durch das Leder gedrungene Flüssigkeit handelte, sondern daß vielmehr die im Leder vorhandene Gerbsäure das Metall angegriffen und der dadurch hervorgerufene undichte Verschluß zu der Tropfenbildung geführt hat; denn erfahrungsgemäß ist es kaum anzunehmen, daß Leder von dieser Dicke wasserdurchlässig ist. Eine Versuchswiederholung bestätigte diese Vermutung.

Die Versuche mit Weißbuchen- und Erlenholz fielen ebenfalls negativ aus. Wenn auch nach einer Zeit von etwa 15 Stunden eine 100prozentige Durchtränkung des Holzes stattgefunden hatte, so konnte trotzdem eine Wasserdurchlässigkeit nicht festgestellt werden.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß, abgesehen von ausgesprochen dünnem Leder, wie es zur Sohlenherstellung kaum Verwendung findet, alle Versuchsstoffe und insbesondere auch die einzelnen Holzarten dem Wasserdurchtritt infolge ihrer Dichte einen genügend großen Widerstand entgegensetzen. Hierin besteht also kein Gegensatz zwischen einer Holzsohle und einer 4 mm dicken Ledersohle.

Wenn trotzdem von Menschen, die gezwungen sind auf feuchtem Boden zu stehen, Holzschuhe bevorzugt werden, dann liegt das an der Dicke der gewöhnlich benützten Holzsohlen, die gegen das Eindringen von Wasser mechanisch schützt.

Zusammenfassung.

1. Beim Gehen in Holzpantoffeln wird eine äußerst intensive Zehenarbeit geleistet. Die leicht festzustellende rhythmische Auf-Abwärts-Bewegung setzt sich zusammen a) aus einer Phase, bei der die Zehen mit ihrer gesamten Plantarfläche gegen die Sohlen drücken, einem Ankrampfen, um die Schuhsohle beim Schwingen an die Ferse zu pressen und b) einer Dorsalflexion, in deren Verlauf die Zehenendphanlangen das Kappenleder berühren. Die mittleren Zehen haben dabei in der Regel eine weit größere Bewegungsmöglichkeit als Hallux und 5. Zehe.
2. Der Druck gegen die Sohle wird in der Hauptsache von Hallux und 2. Zehe ausgeübt.

3. Diese ausgiebige Zehenarbeit führt zu einer Kräftigung der Muskulatur und beugt der Pes-valgusbildung vor.
4. Beim Abheben der Ferse werden durch den Druck des Fußwickelt. Dadurch können Hyperkeratosen am Fußrücken entstehen.
5. Beim Gehen in Holzschuhen mit gekrümmter Sohle schaukelt der Fuß auf der gesamten vorderen Sohlenfläche. Durch die Kompliziertheit der Kurve läßt sich dafür kaum ein Drehpunkt konstruieren. Der Fuß ist gezwungen, dieser Schaukelbewegung durch seine innige Verbindung mit der Sohle zu folgen. Dadurch wirkt das Gehen plump und unbeholfen. Beim Barfußgehen findet die Abrollbewegung auf dem Teil eines Zylinders statt, dessen Drehpunkt in den Capitula der Metatarsalia liegt.
6. Die Drehungsachse im oberen Sprunggelenk, die lateral auf der Knöchelkuppe, medial etwas unterhalb des Knöchels endigt, beschreibt in ihrer Projektion beim Barfußgehen einen Kreis um die Mittelfuß-Zehenachse, beim Gehen in Holzschuhen mit gekrümmter Sohle dagegen eine komplizierte Kurve, deren Zentrum vom hinteren Ende der Schaukelfläche bis in die Schuhspitze wandert.
7. Beim Gehen in japanischen Holzschuhen konnte ich — entgegen meiner ursprünglichen Annahme einer Einwärtsdrehung des Fußes — eine besonders starke Auswärtsdrehung bei verkleinerter Schrittlänge feststellen.
8. Für die Holzschuhherstellung eignet sich Rotbuchenholz am besten wegen seiner geringen Wasseraufnahmefähigkeit. Eine Wasserdurchlässigkeit war bei keiner Holzart feststellbar.

Am Schlusse meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. Basler für die freundliche Überlassung des Themas, die stete Hilfsbereitschaft und die wertvollen Anregungen bei der Durchführung meiner Versuche herzlich zu danken.

Lebenslauf.

Am 5. Mai 1914 wurde ich als Sohn des Wirtschaftsinspektors Fritz Haunschild und seiner Ehefrau Elfriede geb. Kartscher in Brieg geboren. Ich besuchte die dortige evangelische Volks- und Mittelschule und legte Ostern 1933 am humanistischen Gymnasium in Brieg die Reifeprüfung ab. Nach viersemestrigem juristischem Studium an den Universitäten Breslau und Freiburg i. B. und nach Ableistung des Arbeitsdienstes ließ ich mich im Herbst 1935 in Breslau für Zahnmedizin immatrikulieren. Das Studium beendete ich am 5. Juni 1939 mit dem Staatsexamen. Seitdem bin ich ununterbrochen als Vertreter oder Assistent tätig.